

KAJIAN EXPERIMENTAL DAN NUMERIK DESAIN PERANCANGAN ELEMEN BATANG PROFIL L BERBAHAN FERROCEMENT SEBAGAI PENGANTI ELEMEN RANGKA KUDA-KUDA ATAP RINGAN BERBAHAN KAYU ATAU BERBAHAN BAJA

Remigildus Cornelis (remi_cor@yahoo.com)*)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengkaji secara numerik dan eksperimen desain rancangan elemen batang profil L berbahan ferrocement sebagai elemen pengganti untuk rangka batang kuda-kuda kayu untuk atap rumah sederhana. Penelitian ini dilakukan berdasarkan kajian mekanikal elemen batang profil L yang memungkinkan untuk digunakan pada rangka kuda-kuda sederhana. Kajian numerik yang dilakukan adalah menggunakan metode elemen hingga dengan memanfaatkan software ADINA SAP 2000, sedangkan kajian eksperimental dilakukan dengan membuat model rangka kuda-kuda sederhana. Hasil kajian numerik yang diperoleh menunjukkan bahwa keruntuhan material masih dominan adalah keruntuhan tekan dimana tidak ada pengaruh faktor panjang elemen belum dan diperoleh Safety Factor (SF)>3,0. Hasil kajian menunjukkan bahwa hasil kajian numerik hampir mendekati pengujian secara experimental dimana untuk beban ringan, rancangan ini dapat dimungkinkan digunakan untuk konstruksi atap atau rangka batang yang mengalami beban yang kecil (sederhana).

Kata Kunci : Fero semen, Elemen Profil L, Rangka Atap, Rangka Batang, kuat tekan ultimate, kuat tarik ultimate, perkuatan lubang.

PENDAHULUAN

Teknologi Ferrocement telah hadir di Indonesia selama lebih dari 30 tahun namun pada awal munculnya teknologi ini di Indonesia, kebanyakan penerapan teknologi tersebut adalah di bidang struktur laut (*marine structures*) ataupun pembuatan kapal (Frick dan Koesmartadi 1999). Namun sejak tahun 1978 penerapan Teknologi Ferrocement telah dilakukan pada berbagai bidang seperti bangunan monumental, rumah dan struktur irigasi. Semua penerapan teknologi yang pernah dilakukan di Indonesia tersebut memakai system pelaksanaan (pembangunan) cast in situ/dibuat ditempat hingga tahun 2000 (Djausal dkk 2000). Sejak tahun 2005 di Indonesia teknologi fero semen telah diperkenalkan pembuatannya dengan menggunakan system *prefabricated / knock down* (bongkar pasang) pada pembuatan rumah fero semen oleh Masdar Helmi dan tim UNILA (Masdar Helmi 2007). Lebih lanjut Djausal dkk (2000) menyatakan bahwa perkembangan Teknologi Ferrocement pada beberapa daerah di Indonesia didasarkan

*)Dosen Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana

pada penerapan di lapangan dan meneliti sejauh mana keuntungannya pada pengembangan masyarakat.

Teknologi Fero semen merupakan teknologi yang atraktif. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Partogi Hasudungan Simatupang (Partogi H Simatupang dkk 2007) telah berhasil membuat panel fero semen yang kedap air dengan ketebalan 4 cm dengan karakteristik tekan dan lentur yang baik. Selain fero semen dapat dibuat dalam bentuk elemen dinding tipis, Jean Louis Lambot pada tahun 1850 telah menyatakan bahwa fero semen dapat digunakan untuk mengganti elemen yang terbuat dari kayu ataupun baja karena dapat dibuat dalam bentuk beranekaragam (ACI Committee 549 1997).

Menurut Frick dan Setiawan (2001), seorang insinyur teknik sipil haruslah bersikap etis dan penuh tanggung jawab terhadap isu-isu lokal setempat (isu yang berkembang dalam masyarakat) dalam menghasilkan produk rancangan dan konstruksinya. Dalam hal ini, isu setempat (secara khusus untuk Propinsi Nusa Tenggara) yang terjadi adalah : 1) sulitnya mendapat bahan baku kayu yang berakibat pada mahalannya harga kayu apalagi dengan adanya pembatasan penebangan kayu sebagai respons terhadap isu lingkungan yang berkembang belakangan ini (isu *global warming* yang telah dicanangkan di Bali belum lama ini), 2) rendahnya pendapatan dan daya beli masyarakat, dan 3) sulitnya mendapat produksi elemen baja, dimana baja umumnya didatangkan dari Surabaya ke Propinsi NTT sehingga harganya sangat mahal.

Oleh karena itu, diperlukan suatu elemen pengganti yang terbuat dari bahan lain untuk mengganti elemen gording dan rangka atap yang berbahan kayu ataupun baja dengan tujuan mendapatkan biaya konstruksi yang lebih murah dan lebih ramah lingkungan. Untuk itulah penelitian ini akan dilakukan dengan judul “ Kajian Experimental dan Numerik Desain Perancangan Elemen Batang Profil L Berbahan Ferrocement sebagai Pengganti Elemen Rangka Kuda-Kuda Atap Ringan Berbahan Kayu Atau Berbahan Baja”.

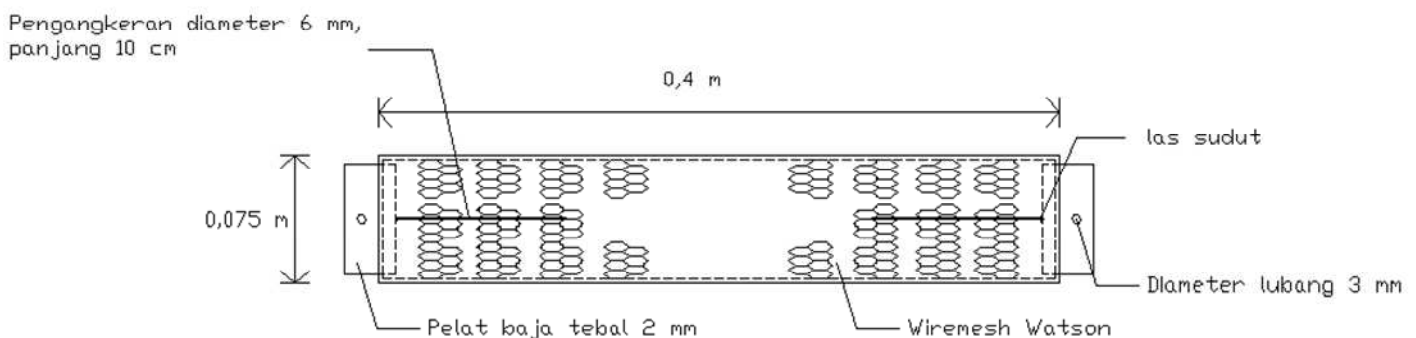
Untuk membentuk struktur rangka batang nantinya digunakan jumlah lapis wiremesh sebanyak 4 lapis. Sehingga persamaan reduksi tegangan tekan yang diberikan adalah :

$$f_c \text{ (Mpa)} = -0,3796 (L) + 49,484 \dots\dots\dots (2)$$

dimana : L dalam satuan (cm)

Model Sambungan, Elemen serta Struktur Rangka Batang

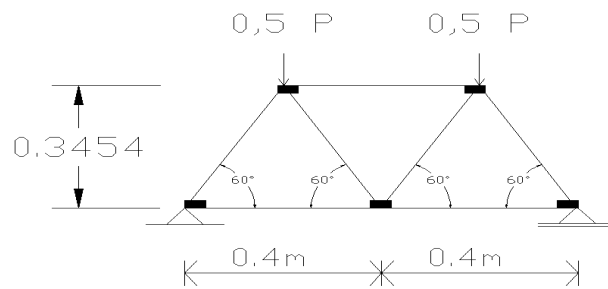
Dengan mempelajari keruntuhan tarik dan tekan pada penelitian tahun 2009 dan hasil pada penelitian tahun 2010, maka dirancang model elemen batang bentuk L sebagai berikut.



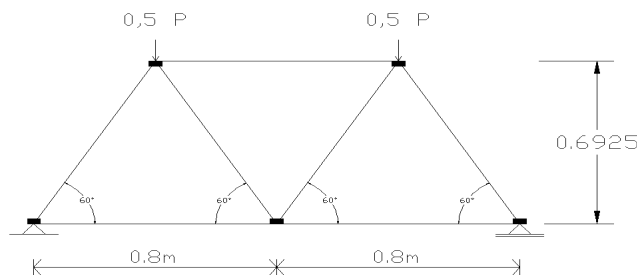
Gambar 1.15 Detail tampak depan profil L yang dirancang sebagai elemen rangka batang



Gambar 1.16 Pelat baja tebal 2 mm yang dipersiapkan untuk kepala elemen Profil L
Adapun struktur rangka batang yang dipersiapkan nantinya ada 2 model, yaitu (1) model-1 menggunakan panjang elemen 0,4 m dan (2) model-2 menggunakan panjang elemen 0,8 m seperti terlihat pada gambar berikut.



(a) Model-1 dengan panjang elemen = 0,4 m



(b) Model-1 dengan panjang elemen = 0,8 m

Gambar 1.17 Model Struktur Rangka Batang Profil L yang diuji

VALIDASI DAN ANALISA NUMERIK ELEMENTAL

1 Strategi dan Proses Simulasi Uji Beban dengan ADINA

Penjelasan strategi dan proses simulasi uji beban hingga runtuh dengan menggunakan ADINA pada elemen *Plane Stress Analysis* untuk mensimulasi keruntuhan lentur-geser pada balok beton bertulang telah diberikan oleh **Dewobroto 2005**. Strategi dan proses tersebut juga digunakan dalam model pada penelitian ini. Beberapa tambahan strategi dan proses simulasi uji beban hingga runtuh dengan ADINA pada penelitian ini diberikan sebagai berikut :

- Triaksial failure curve yang digunakan adalah default dari ADINA yaitu Method Kupfer. Hal ini berguna untuk merubah parameter uni-aksial beton/mortar seperti yang diinputkan sebelumnya dapat menjadi parameter multi-aksial, sehingga dengan sendirinya material beton tersebut dapat digunakan untuk memodelkan keruntuhan beton dalam 2 dimensi bahkan 3 dimensi.
- Parameter yang bersifat engineering judgement untuk menentukan material failure envelopes atau batas keruntuhan suatu material dalam kondisi tegangan multi-aksial, termasuk keruntuhan tarik (*tensile*) atau tekan (*crushing*), berdasarkan data

uni-aksial. Nilai-nilai tersebut yang digunakan adalah default dari program ADINA (**Dewobroto 2005**).

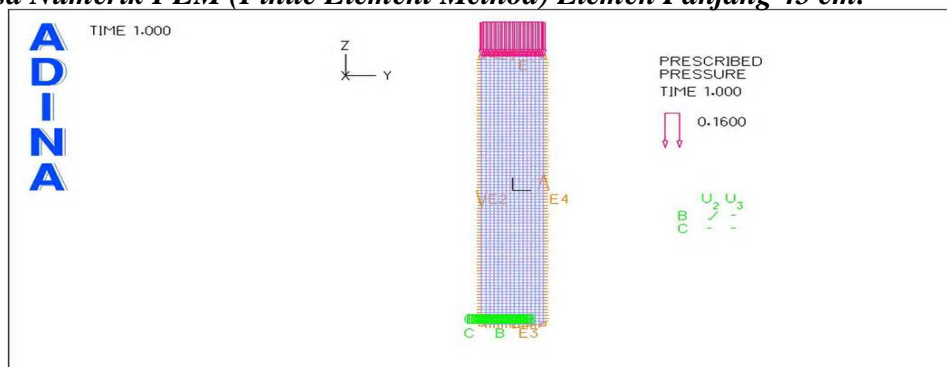
- Parameter yang berkaitan dengan tensile failure envelope atau batas keruntuhan tarik pada beton. Keruntuhan tarik terjadi jika tegangan tarik pada arah tegangan utama melebihi tegangan runtuh tarik. Pada kasus tersebut dianggap bahwa bidang runtuh terjadi pada arah tegak lurus dari arah tegangan utama tersebut. Pengaruh dengan adanya keruntuhan material tersebut maka kekakuan normal dan geser dan tegangan yang melintas pada bidang runtuh tersebut akan berkurang dan kondisi tegangan bidang dianggap akan timbul pada bidang keruntuhan tarik tersebut (**Dewobroto 2005**). Untuk penelitian ini juga digunakan nilai default dari ADINA.
- *Meshing* yang dilakukan pada model digunakan *Complete Model* dengan pembagian 5 buah tiap surface. Oleh karena itu dimensi tiap meshing berbeda-beda tiap model. Namun perbedaan tersebut tidak cukup signifikan memberikan perbedaan.
- Sementara, proses simulasi keruntuhan model struktur beton yang dibebani sampai runtuh akan menemukan hal-hal sulit bila masuk pada bagian yang bersifat non-linear khususnya akibat terjadinya retak dan crushing pada beton (**Dewobroto 2005**). Oleh karena itu pembebanan (yang dalam hal ini beban tegangan (pressure)) diberikan bertahap secara otomatis dimana besar pertambahan beban tegangan (pressure) tersebut berbeda untuk kondisi tekan dan tarik. Kondisi tarik karena brittle dan tegangan ultimate runtuhnya lebih kecil dari kondisi tekan, maka secara logis pertambahan tegangan untuk tarik lebih kecil. Dalam penelitian ini digunakan $\Delta\sigma_{\text{tekan}} = 0.20 \text{ MPa}$. Selain itu, baik pada kondisi tekan maupun kondisi tarik, model pada penelitian ini menggunakan control time function dan control time step. Digunakan fungsi linear dengan nilai maksimum time function value=250 dan nilai maksimum time=250.
- Untuk mendapatkan konvergensi dari kekakuan elemen yang non-linear maka dipakai iterasi Newton-Raphson dengan fasilitas Line Searching. Hal ini digabungkan dengan penggunaan ATS (Automatic Time Stepping) dengan tujuan jika terjadi pembebanan incremental mengalami kegagalan, maka pertambahan

beban akan diskalakan dengan sendirinya oleh ADINA untuk menghasilkan kondisi yang konvergen. Cara ini telah ditunjukkan telah berhasil bekerja dengan baik saat mensimulasi keruntuhan lentur-geser pada balok beton bertulang oleh **Dewobroto 2005**.

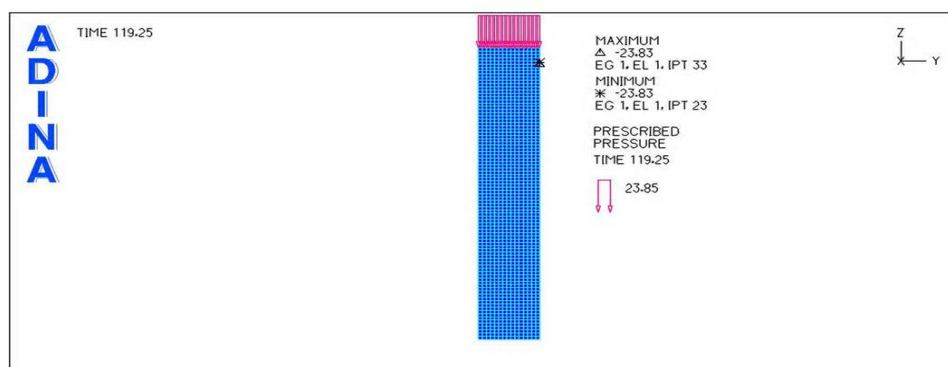
- Untuk mendapatkan karakteristik tekan dan tarik dari masing-masing specimen model, digunakan input titik dalam hal ini digunakan titik analisa yaitu titik No.99 (berada pada sisi atas elemen). Output yang didapat adalah Δ_{zz} dan σ_{zz} (displacement dan tegangan arah zz). Karakteristik grafik Δ_{zz} dan σ_{zz} tiap elemen yang diperbandingkan. Perlu ditambahkan besaran tegangan dan displacement tersebut merupakan nilai rata-rata (*averaged*) yang merupakan salah satu option dalam ADINA.

2 Analisa Numerik FEM dengan ADINA

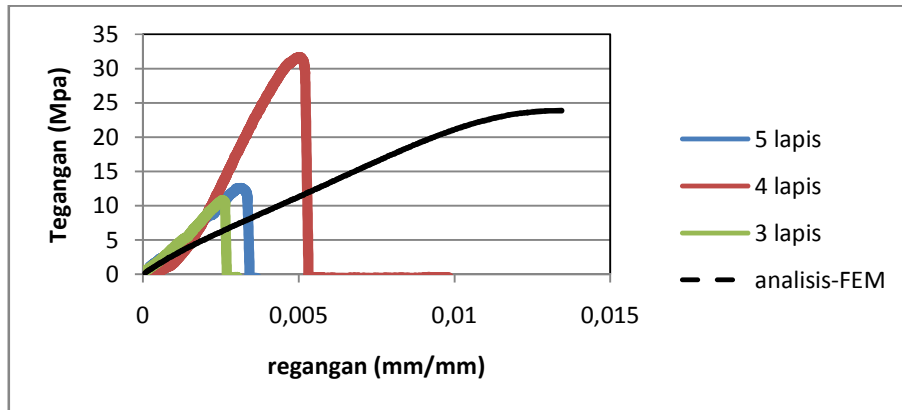
Analisa Numerik FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 45 cm.



Gambar 1.18 Model Analisa FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 45 cm



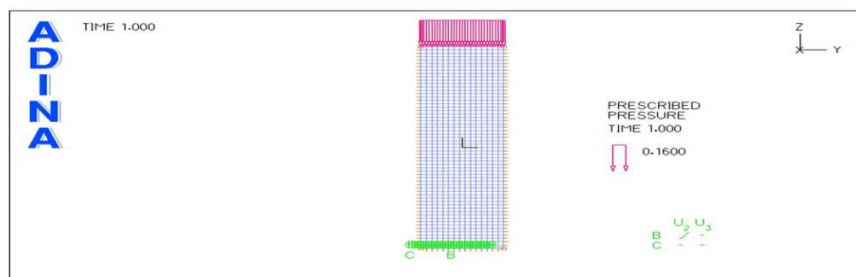
Gambar 1.19 Hasil Analisa FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 45 cm



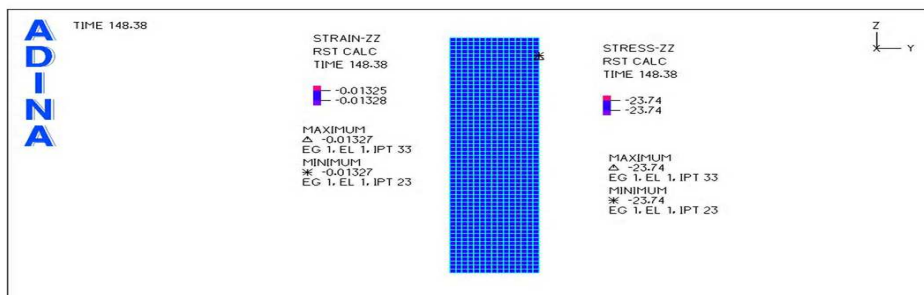
Gambar 1.20. Hasil Analisa FEM (Finite Element Method) vs Eksperimental, Elemen 45 cm.

Terlihat pada Gambar 5.20 bahwa analisa numerik FEM (Finite Element Method) tersebut memiliki regangan yang lebih tinggi namun tegangan yang moderat. Oleh karena itu, kekakuan elemen yang dihasilkan juga moderat dibandingkan dengan hasil ekperimental. Hal ini dimungkinkan karena analisa FEM yang digunakan adalah analisa plane stress Solid 2 Dimensi. Analisa FEM tidak mengakomodasi adanya jumlah lapis wiremesh.

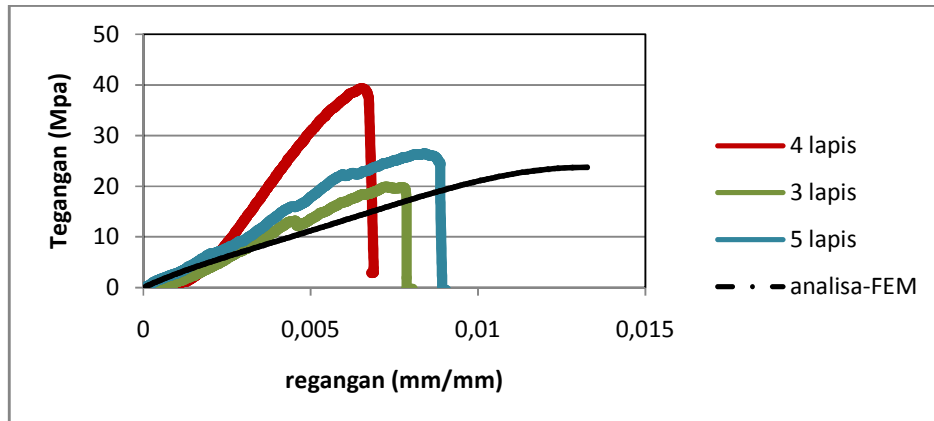
Analisa Numerik FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 30 cm.



Gambar 1.21 Model Analisa FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 30 cm



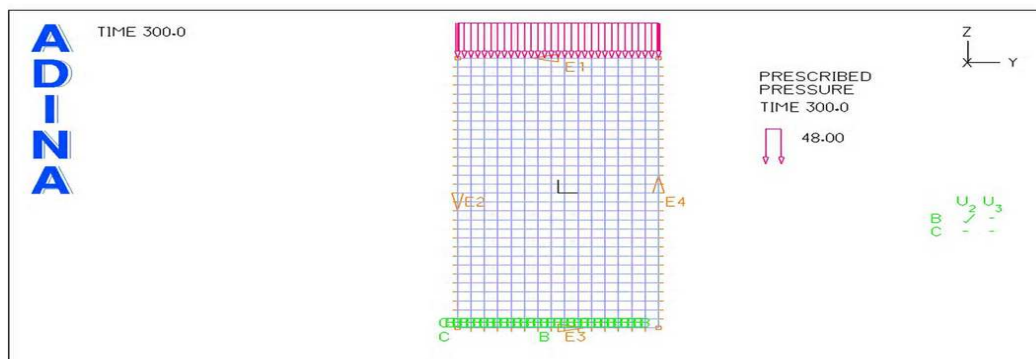
Gambar 1.22 Hasil Analisa FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 30 cm



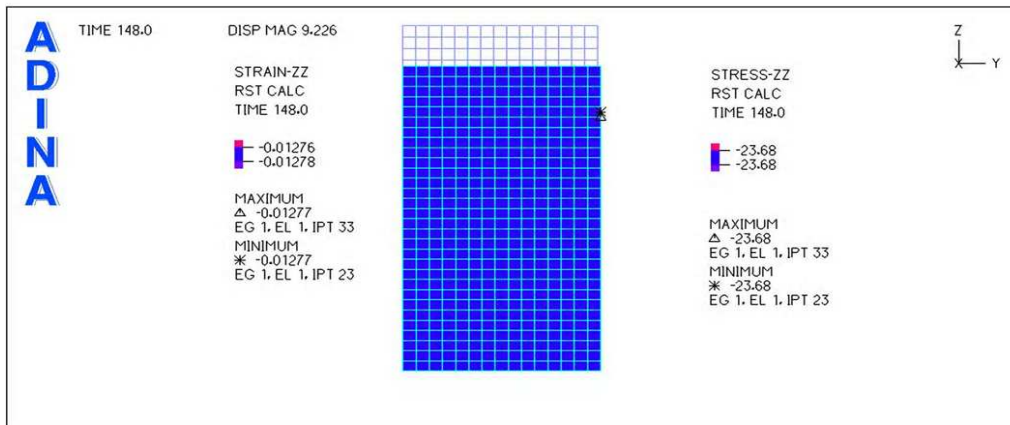
Gambar 1.23. Hasil Analisa FEM (Finite Element Method) vs Eksperimental, Elemen 30 cm.

Terlihat pada Gambar 5.23 bahwa analisa numerik FEM (Finite Element Method) tersebut memiliki regangan yang lebih tinggi namun tegangan yang hampir mendekati hasil eksperimental untuk wiremesh 3 dan 5 lapis. Oleh karena itu, kekakuan elemen yang dihasilkan juga hampir sama dibandingkan dengan hasil ekperimental, khusus untuk wiremesh 3 dan 5 lapis.

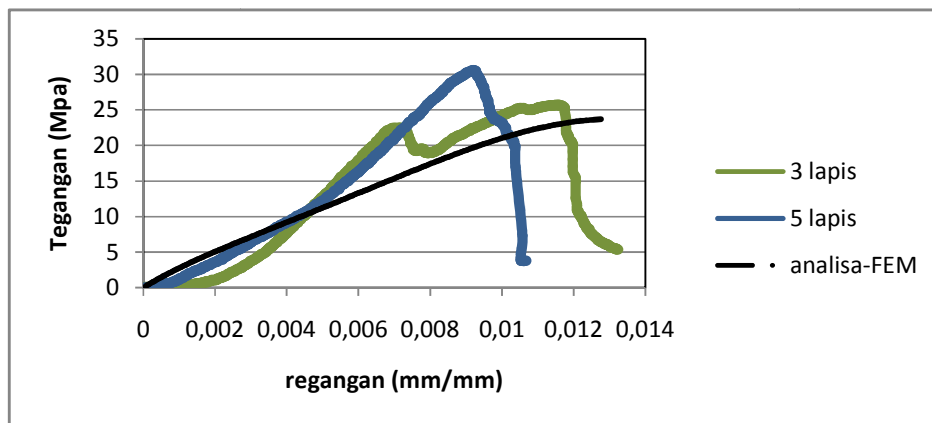
Analisa Numerik FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 15 cm.



Gambar 1.24 Model Analisa FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 15 cm



Gambar 1.25 Hasil Analisa FEM (Finite Element Method) Elemen Panjang 15 cm



Gambar 1.26. Hasil Analisa FEM (Finite Element Method) vs Eksperimental, Elemen 15 cm.

Terlihat pada Gambar 1.26 bahwa analisa numerik FEM (Finite Element Method) tersebut memiliki regangan dan tegangan yang hampir mendekati hasil eksperimental untuk wiremesh 3 dan 5 lapis. Oleh karena itu, kekakuan elemen yang dihasilkan juga hampir sama dibandingkan dengan hasil ekperimental, khusus untuk wiremesh 3 dan 5 lapis.

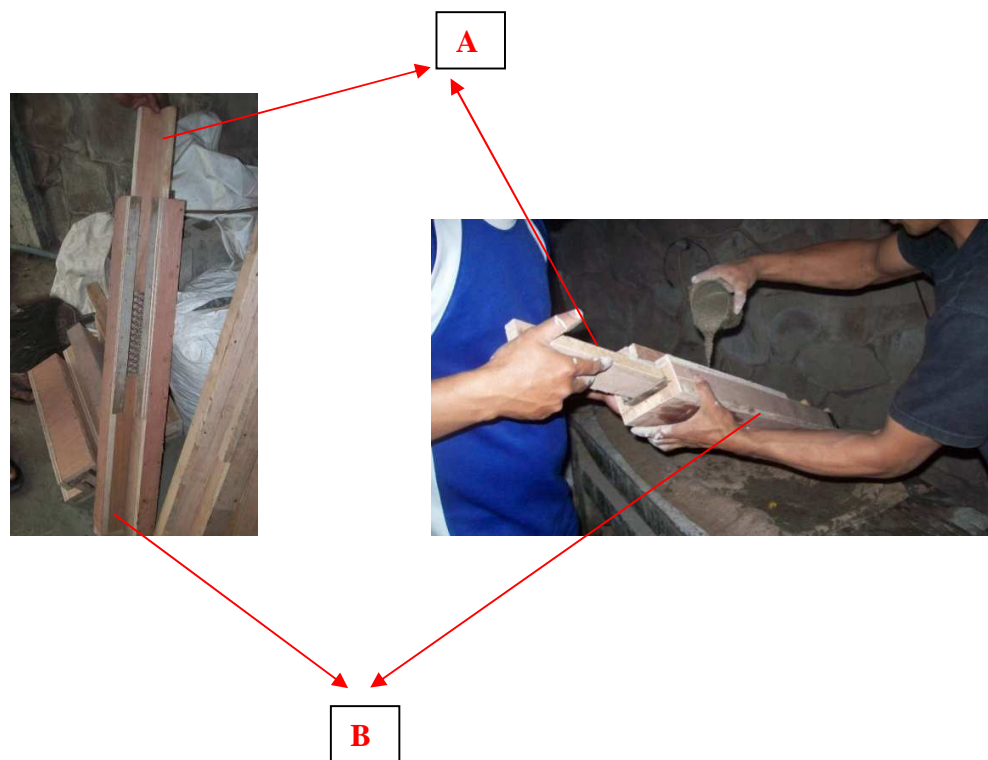
Perlu ditekankan bahwa tegangan tarik material yang dimodelkan adalah sama untuk semua elemen dimana digunakan Model Tensien dimana besar tegangan tarik pasca retak sekitar 50% dari tegangan tarik maksimum. Sementara, karena tidak dilakukan uji karakteristik tarik material, maka diasumsikan tegangan tarik ultimate sebesar 10% dari tegangan tekan material. Dan perlakuan ini dibuat sama untuk semua elemen di atas (elemen panjang 45 cm, 30 cm dan 15 cm). Itulah sebabnya mengapa keruntuhan tekuk

elemen berdasarkan panjang elemen kurang dapat dimodelkan. Namun, model analisa numerik FEM dengan menggunakan software ADINA ini mampu mendekati hasil eksperimental untuk panjang elemen yang lebih kecil (contohnya 15 cm). Karena jelas sekali bahwa keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan material. Untuk menyempurnakan model analisa numerik ini di masa mendatang, kiranya perlu dilakukan uji karakteristik tarik material mortar.

PEMBUATAN STRUKTUR RANGKA BATANG DAN ANALISA NUMERIK

1 Proses Pembuatan Elemental Struktur Rangka Batang

Pembuatan struktur rangka batang, didahului dengan cara coba-coba dalam pembuatan bekestingnya. Sehingga pada akhirnya didapatkan model pencetakan yang baik dan praktis dengan harapan nantinya dapat menjadi *pattern* pada industry kecil dan menengah. Gambar 5.27 berikut merupakan prototype cetakan yang diusulkan.



Gambar 1.27 Prototipe Cetakan yang diusulkan untuk membuat elemen struktur rangka batang Ferosemen

Cetakan ini terdiri dari 2 bagian utama yaitu, bagian (A) adalah elemen dinamis dan bagian (B) adalah elemen statis. Elemen dinamis adalah elemen yang dapat digerakkan dari pangkal hingga ujung lainnya berdasarkan tahapan pengecoran yang berlangsung. Sedangkan bagian statis adalah bagian yang tetap selama proses pengecoran. Hubungan antara bagian statis dan dinamis harus presisi (ketelitian tinggi) karena selama proses pengecoran dari ujung satu ke ujung yang lain tidak terganggu. Bagian dinamis dikunci untuk setiap tahapan pengecoran yang direncanakan. Dalam hal ini dilakukan 2 tahapan pengecoran tiap elemennya. Proses pengecorannya dilaksanakan bersamaan dengan proses pemadatan yaitu dalam hal ini dilakukan dengan cara meja getar.



Gambar 1.28 Proses akhir pengecoran dan hasil akhir pengecoran

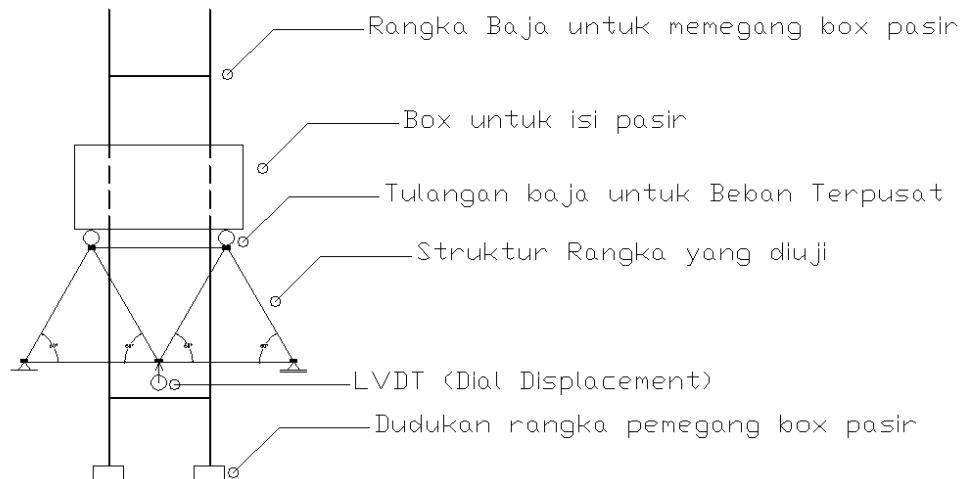
2 Proses Perakitan dan Pengujian Struktur Rangka Batang

Proses perakitan dapat dilakukan setelah elemen berumur 28 hari. Perakitan dilakukan dengan memberikan sambungan baut, dimana joint antar elemen dilakukan dengan bantuan pelat titik buhul. Tiap ujung elemen disambung dengan hanya 1 (satu) baut berukuran diameter 6 mm. Sementara tebal pelat buhul sama dengan pelat ujung elemen yaitu tebal 2 mm.



Gambar 1.29 Proses Perakitan Elemen Struktur Rangka Batang

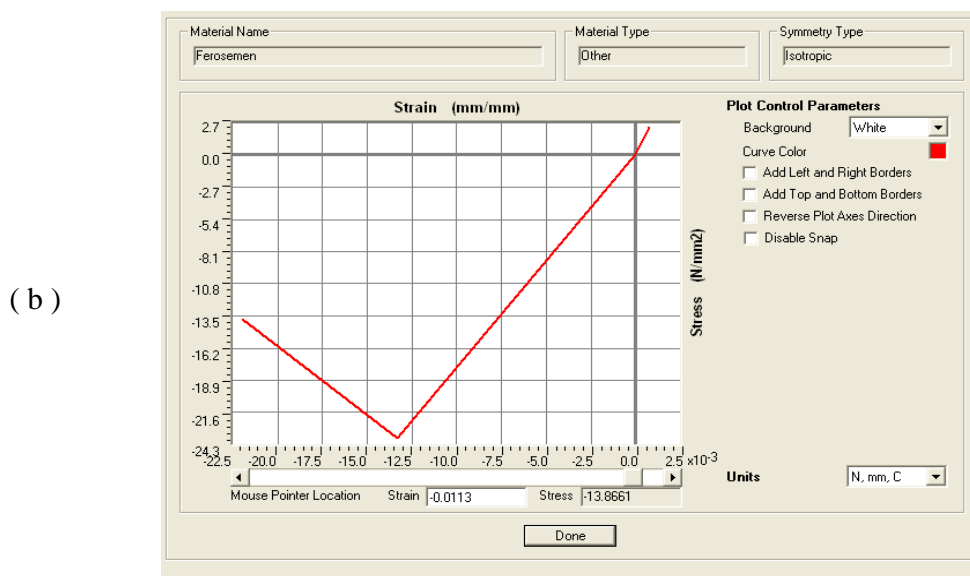
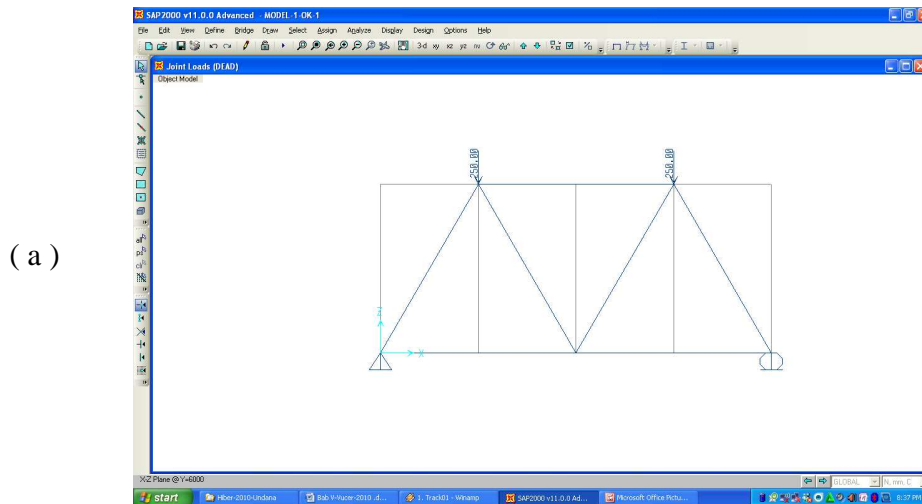
Sementara proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban berupa pasir yang ditambahkan secara bertahap hingga struktur rangka batang hancur ataupun lendutan telah mencapai lendutan ijin. Perancangan pengujian seperti pada Gambar 5.30.



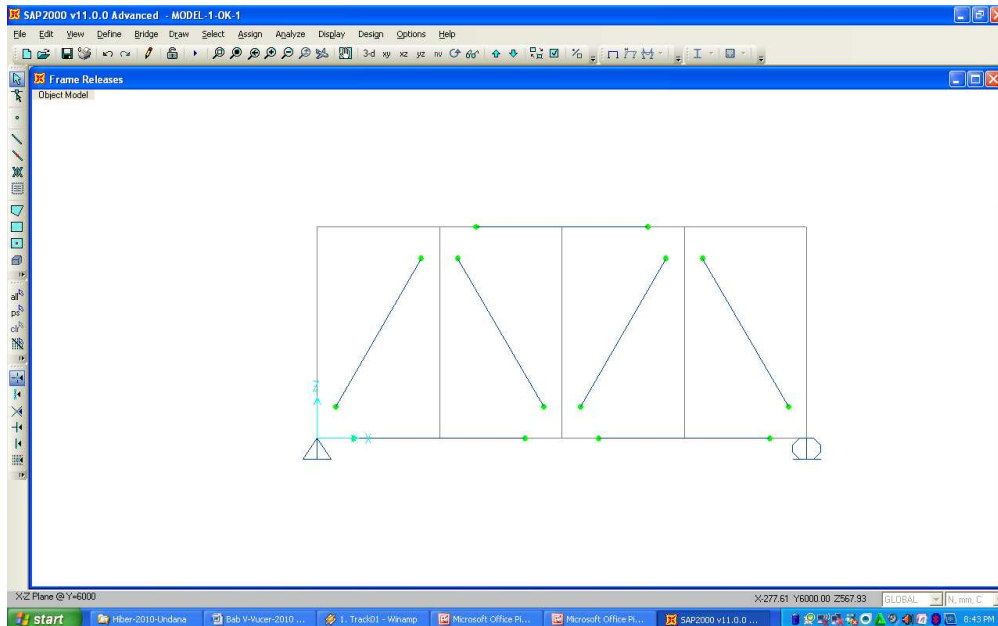
Gambar 1.30 Metode Pengujian Struktur Rangka Batang

3 Analisa Numerik Struktur Rangka Batang

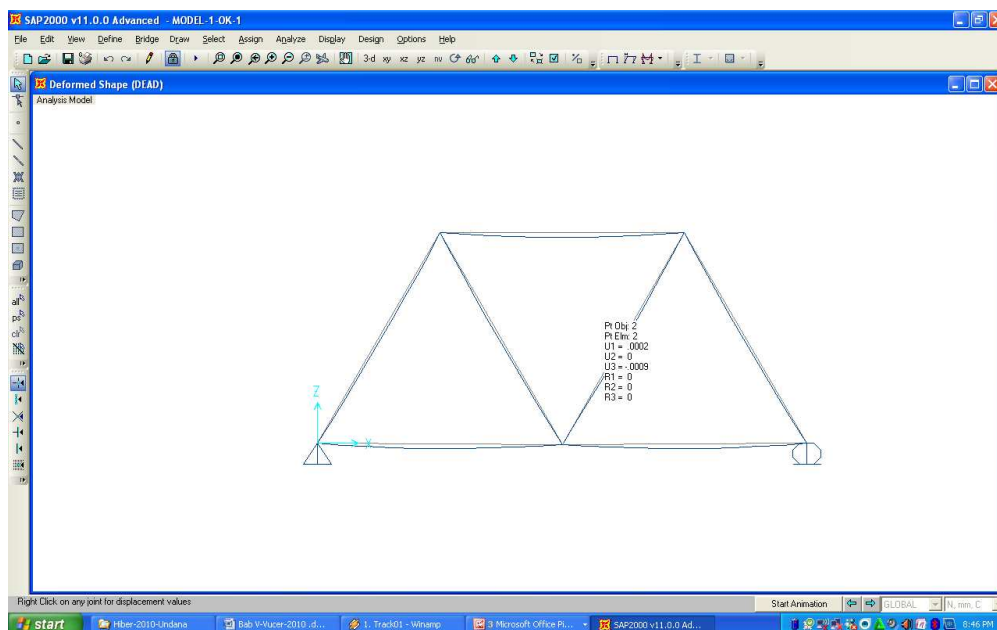
Struktur rangka batang yang dihasilkan selanjutnya dianalisa dengan menggunakan software struktur yaitu SAP 2000 v.11. Adapun berat sendiri elemental dan kekuatan material mortar yang didapatkan pada subbab sebelumnya, diinputkan pada software tersebut.



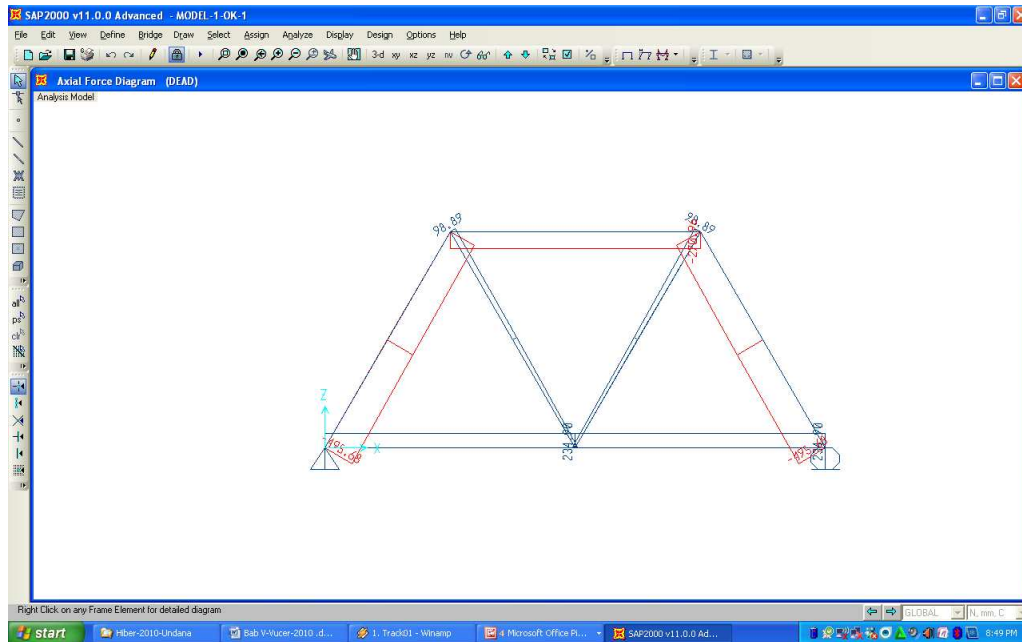
Gambar 1.31 Analisa Struktur Rangka Batang Model-1 dan Model-2; (a) Linear Analisis Struktur dan (b) Non-Linear Material



Gambar 1.32 Release Joint Model



Gambar 1.33 Deformasi Tengah Bentang Struktur Rangka Batang

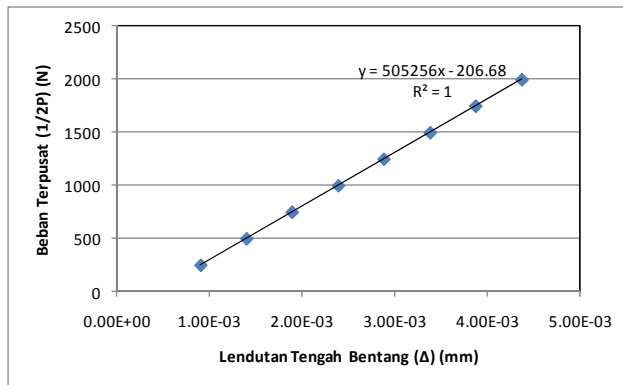


Gambar 1.34 Gaya Batang Tekan dan Tarik Struktur Rangka Batang

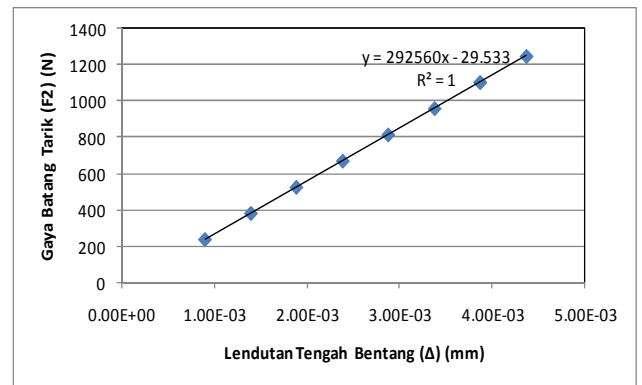
Jika, Beban Terpusat ($1/2 P$) ditambah-tambahkan dengan Δ beban = 250 N, maka hasil analisa Model-1 diberikan Tabel 5.5 berikut. Sedangkan hasil analisa Model-2 diberikan pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.36.

Tabel 1.5 Hasil Analisa Penambahan Beban Terpusat ($1/2 P$) pada Model-1

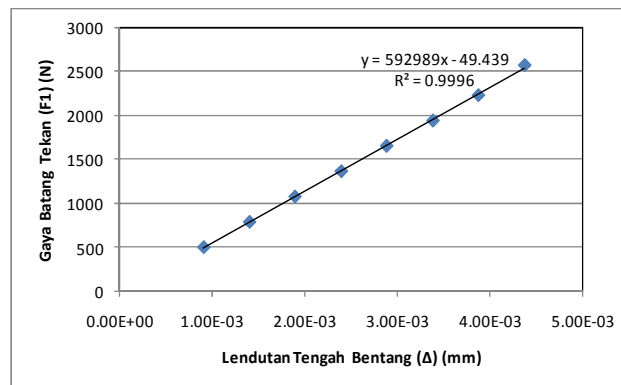
Beban Terpusat ($1/2 P$) (N)	Lendutan Tengah Bentang (Δ) (mm)	Gaya Batang Tekan (F1) (N)	Gaya Batang Tarik (F2) (N)
(1)	(2)	(3)	(4)
250	9.05E-04	495.68	234.9
500	0.0014	784.57	379.66
750	0.00189	1073	524.42
1000	0.00239	1362.34	669.18
1250	0.00288	1651.23	813.93
1500	0.00338	1940.12	958.69
1750	0.00387	2229	1103.45
2000	0.00437	2571.89	1248.21



(a)



(b)

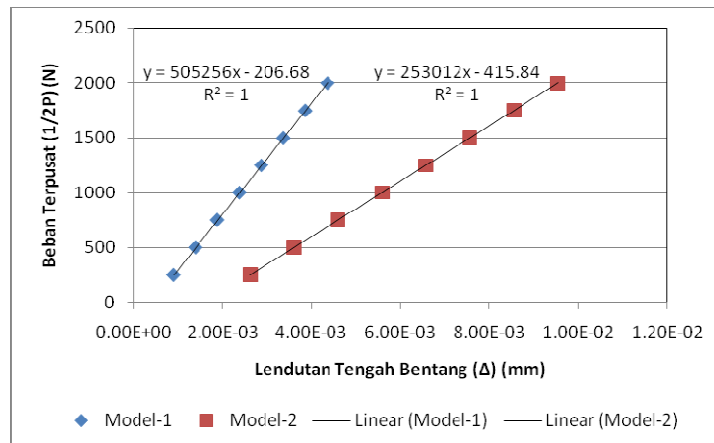


(c)

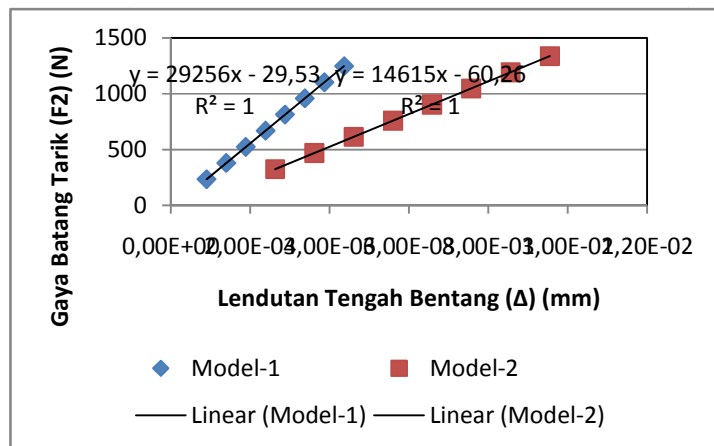
Gambar 1.35 Hasil Analisa Struktur SAP 2000 v.11 Model-1, dengan menggunakan Non-Linear Material dan Linear Struktur Analisis

Tabel 1.6 Hasil Analisa Penambahan Beban Terpusat (1/2 P) pada Model-2

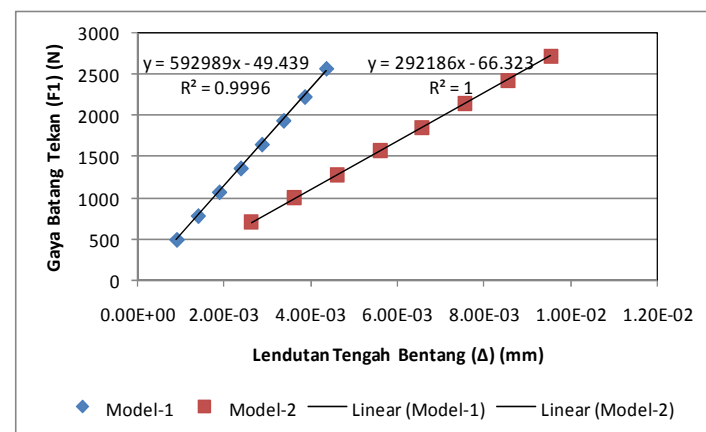
Beban Terpusat (1/2 P) (N)	Lendutan Tengah Bentang (Δ) (mm)	Gaya Batang Tekan (F_1) (N)	Gaya Batang Tarik (F_2) (N)
(1)	(2)	(3)	(4)
250	2.63E-03	702.61	324.43
500	0.00362	991.32	468.64
750	0.00461	1280.03	613.24
1000	0.0056	1568.74	757.65
1250	0.00658	1857.46	902.05
1500	0.00757	2146.15	1046.46
1750	0.00856	2434.86	1190.86
2000	0.00955	2723.57	1335.26



(a)



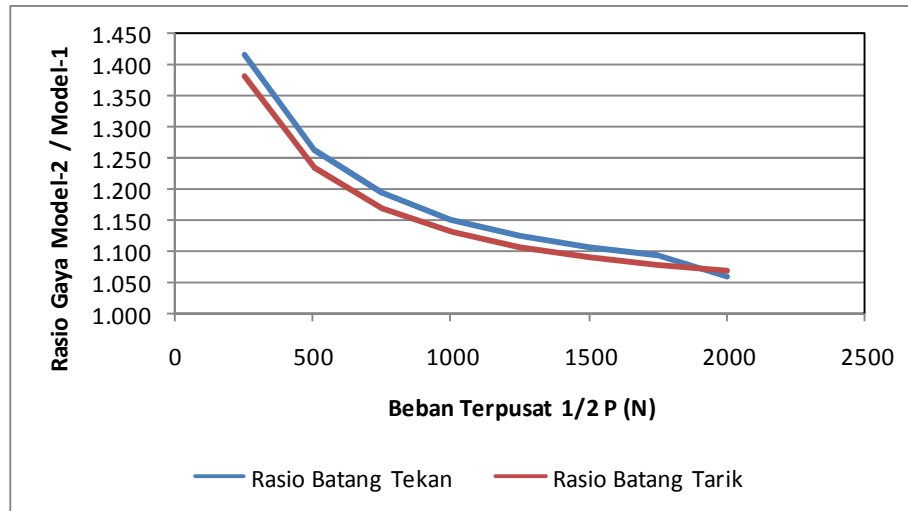
(b)



(c)

Gambar 1.36 Perbandingan Hasil Analisis Model-1 dan Model-2

Perbandingan hasil analisis Model-1 dan Model-2 diberikan pada Gambar 5.36. Terlihat $R^2 = 1$ (mendekati) yang menunjukkan semua analisa struktur adalah analisis linear.



Gambar 5.37 Rasio Gaya Batang Tekan dan Tarik Maksimum antara Model-2 dengan Model-1

Rasio Gaya Batang tekan maksimum dan tarik maksimum yang terjadi pada struktur rangka batang Model-2 dan Model-1 diberikan pada Gambar 1.37. Terlihat bahwa semakin besar nilai beban terpusat semakin kecil rasio tersebut dan mendekati sama dengan 1. Ini menunjukkan bahwa keruntuhan model-2 dan model-1 akan sama jika terjadi keruntuhan material, dan keruntuhan material tersebut diprediksi dengan tercapainya titik singgung. Dan titik persinggungan terjadi pada beban ± 2000 N (200 kg). Perlu ditekankan bahwa analisis SAP 2000 v.11 yang diaplikasikan tanpa memperhitungkan faktor reduksi kuat tekan akibat panjang elemen seperti yang terlihat pada Rumus (2) di atas. Hal ini karena software SAP 2000 v.11 tidak memiliki *tools* untuk mengakomodasi reduksi kuat tekan terhadap panjang elemen.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan mengenai kajian numerik dan eksperimental struktural elemen rangka batang pprofil L ferosemen adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk tebal elemen 1,5 cm, jumlah lapis wiremesh yang optimal adalah 4 lapis.
- 2) Sistem cetakan yang efektif dalam pelaksanaan lapangan (praktis) adalah sistem cetakan yang menggunakan elemen statis dan elemen dinamis dengan proses pemadatan adalah dengan penggetaran.
- 3) Analisis Finite Element Method (FEM) menggunakan software ADINA mendekati hasil eksperimental untuk elemen yang lebih kecil (panjang 15 cm).
- 4) Desain sambungan yang efektif dan praktis adalah sambungan pelat baja yang sistem sambungannya telah diusulkan dalam laporan ini.
- 5) Analisa struktur dengan menggunakan software SAP 2000 v.11 menunjukkan gaya batang tekan dan tarik maksimum elemental tidak jauh berbeda antara model-1 dan model-2, dan akan sama pada beban sekitar 2000 N. Namun, respons lendutan Model-2 berkisar > 2 kali dari respons lendutan Model-1.
- 6) Sistem struktur rangka batang yang dibangun dapat digunakan (dimungkinkan) untuk struktur yang mengalami beban ringan.

Saran

Sementara, saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian sejauh ini adalah sebagai berikut :

- 1) Penggunaan serat pada mortar untuk membangun elemental perlu dilakukan untuk meningkatkan kuat tarik dan kuat tekan mortar.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik atas dukungan penuh Universitas Nusa Cendana atas bantuan dana DIPA VUCER T.A 2010. Untuk itu, diucapkan terima kasih yang tulus atas bantuan tersebut.

Daftar Pustaka

- 1) ACI COMMITTEE 549.1997. State-of-the-Art Report On Ferrocement. ACI 549R-97 Code American Concrete Institute.USA.
- 2) Frick H dan Setiawan P.L. 2001. Ilmu Konstruksi Struktur Bangunan. Seri Konstruksi Arsitektur 4.Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- 3) Frick H dan Ch.Koesmartadi. 1999. Ilmu Bahan Bangunan. Seri Konstruksi Arsitektur 9.Penerbit Kanisius.Yogyakarta.

- 4) Naaman, A.E .2000. Ferrocement and Laminated Cementitious Composites. First Edition. Techno Press. Michigan.
- 5) Neville, A.M and Brooks J.J .1987. Concrete Technology. First Published, Longman Scientific and Technical. Essex, U.K.
- 6) NSPM (Norma,Standar,Pedoman, dan Manual) Kimpraswil. 2003. Metode, Spesifikasi, dan Tata Cara Bagian 3 : Beton, Semen,Perkerasan Beton Semen. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Badan Penelitian dan Pengembangan. Jakarta.
- 7) Puvanesvararao A/L Venkatasamy.2003. Kajian Awal kekuatan Groutfero Keratan C. Thesis Sarjana, Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- 8) Rukhsana Rahooja .2006. Alternate and Low Cost Construction Materials and Techniques Developed Through R & D Efforts at Council for Works and Housing Research. 2nd International Conference on Construction Industry-ICCI. Pakistan.
- 9) Shuxin Wang, A.E Naaman and Victor C Li. 2001. Bending Response of Hybrid Ferrocement Plates with meshes and fibers. ACI Journal.